



Исследование антагонистической активности грибных симбионтов черного трюфеля

Н.А. Имидоева✉, Е.В. Малыгина, А.Ю. Бельшенко, Т.Н. Вавилина,
В.Н. Шелковникова, М.Е. Дмитриева, М.М. Моргунова, Т.Ю. Тельнова,
А.А. Баталова, Д.В. Аксёнов-Грибанов

Иркутский государственный университет, Иркутск, Российская Федерация

Аннотация. В последние десятилетия интерес к черным трюфелям значительно возрос благодаря их гастрономическим свойствам, высокой пищевой ценности и потенциальным лечебным свойствам. Важную роль в формировании специфического аромата и питательной ценности этих грибов играют сообщества микроорганизмов, населяющих плодовые тела трюфелей. Целями данного исследования являлись выделение чистых культур культивируемых грибных симбионтов, оценка их взаимного антагонизма и предположение экологической роли. В ходе эксперимента были собраны плодовые тела черных трюфелей, из которых выделены чистые культуры грибных симбионтов. В результате идентифицированы восемь грибных штаммов. Антагонистические свойства полученных штаммов оценивали с использованием метода лунок. Шесть из восьми штаммов продемонстрировали антагонистическую активность. Наибольшую активность проявил штамм *Fusarium* sp. LPB2023712, который подавлял рост шести других штаммов с максимальной зоной ингибирования $\pm 3,3$ см. Также значительную активность показали штаммы *Trichothecium* sp. и *Hyporhiza* sp., ингибировавшие рост *Clonostachys* sp. и *Penicillium* sp. Полученные результаты свидетельствуют о важной роли грибных симбионтов в экологии трюфелей, включая их способность регулировать микробное сообщество и подавлять развитие патогенов в плодовых телах. Штамм *Fusarium* sp. LPB2023712 продемонстрировал потенциал в качестве агента биоконтроля, что открывает новые возможности для поиска биологически активных соединений и разработки методов повышения устойчивости трюфелей к заболеваниям. Данное исследование подчеркивает необходимость дальнейшего изучения трюфелей и ассоциированных с ними микроорганизмов для более глубокого понимания их экологических функций, взаимодействий и практического применения в сельском хозяйстве и биотехнологиях.

Ключевые слова: трюфель, черный трюфель, симбионты, биоразнообразие, *Tuber* sp.

Финансирование. Исследование проведено при поддержке Российского научного фонда, проект № 22-76-10036.

Для цитирования: Имидоева Н.А., Малыгина Е.В., Бельшенко А.Ю., Вавилина Т.Н., Шелковникова В.Н., Дмитриева М.Е. [и др.]. Исследование антагонистической активности грибных симбионтов черного трюфеля // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2025. Т. 15. N 3. С. 370–376. DOI: 10.21285/achb.988. EDN: YKXMIQ.

Antagonistic activity of fungal symbionts associated with black truffle

Natalia A. Imidoeva✉, Ekaterina V. Malygina, Aleksandr Yu. Belyshenko,
Tatyana N. Vavilina, Victoria N. Shelkovnikova, Maria E. Dmitrieva,
Maria M. Morgunova, Tamara Yu. Telnova, Anna A. Batalova, Denis V. Axenov-Gribanov

Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. Recent decades have seen increased interest in black truffles due to their gastronomic properties, high nutritional value, and potential medicinal properties. An important contribution to the specific aroma and nutritional value of these fungi is made by the community of microorganisms that inhabit truffle fruiting bodies. The present study aims to isolate pure cultures of cultivated fungal symbionts, assess their mutual antagonism, and consider their ecological role. The experiment involved collecting the fruiting bodies of the black truffle, which were used to isolate pure cultures of fungal symbionts. As a result, eight fungal strains were identified. The antagonistic properties of the obtained strains were evaluated using the agar-well method. Six of the eight strains exhibited antagonistic activity. The highest activity was exhibited by the *Fusarium* sp. strain LPB2023712, which inhibited the growth of six other strains with the maximum inhibition zone of ± 3.3 cm. Also, significant activity was observed in the strains of *Trichothecium* sp. and *Hypopichia* sp., which inhibited the growth of *Clonostachys* sp. and *Penicillium* sp. The obtained results indicate the important role of fungal symbionts in the ecology of truffles, including their ability to regulate the microbial community and inhibit the development of pathogens in fruiting bodies. The *Fusarium* sp. strain LPB2023712 demonstrated potential to serve as a biocontrol agent, which opens up new opportunities to find biologically active compounds and develop methods for improving the resistance of truffles to disease. This study emphasizes the need for further research on truffles and associated microorganisms to gain a deeper understanding of their ecological functions, interactions, and practical applications in agriculture and biotechnology.

Keywords: truffle, black truffle, symbionts, biodiversity, *Tuber* sp.

Funding. The Russian Science Foundation (project no. 22-76-10036) financially supported the work.

For citation: Imidoeva N.A., Malygina E.V., Belyshenko A.Yu., Vavilina T.N., Shelkovnikova V.N., Dmitrieva M.E., et al. Antagonistic activity of fungal symbionts associated with black truffle. Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology. 2025;15(3):370-376. (In Russian). DOI: 10.21285/achb.988. EDN: YKXMIQ.

ВВЕДЕНИЕ

Трюфельные грибы (*Tuber* sp.) являются аскомицетами, плодовые тела которых обычно растут в почве и в ассоциации с корнями определенных пород деревьев, таких как дуб, граб, лесной орех и сосна [1]. Внутри плодового тела трюфеля находится разнообразное симбиотическое сообщество микроорганизмов, включая бактерии, дрожжи и нитевидные грибы [2]. Эти микроорганизмы играют большую роль в формировании специфического аромата, вкуса и питательной ценности трюфеля [3]. Помимо аромата, трюфели являются источником питательных веществ. В составе трюфеля, как правило, преобладают белки и углеводы [4]. Кроме того, трюфели богаты минералами, клетчаткой, незаменимыми аминокислотами, жирными кислотами и полезными жирами [5]. Помимо этого, трюфельные грибы содержат широкий спектр биологически активных соединений, таких как аскорбиновая кислота, эргостерин, фенолы, флавоноиды и др. [6, 7].

Таким образом, биотехнологический потенциал трюфелей огромен, а разнообразие микроорганизмов, вступающих в ассоциации с трюфельными грибами, делает

их перспективным источником для поиска продуцентов биологических молекул с новыми терапевтическими эффектами [8]. Вторичные метаболиты данных микроорганизмов в дальнейшем могут использоваться как в медицине, так и в биотехнологии [5, 9].

Целью данного исследования являлись выделение чистых культур культивируемых грибных симбионтов *Tuber macrosporum*, оценка антагонистических характеристик и предположение их экологической роли.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для проведения экспериментов черные трюфельные грибы вида *T. macrosporum*, собранные в Краснодарском крае, были доставлены в г. Иркутск посредством авиасообщения. Для предотвращения порчи грибов во время транспортировки соблюдали температурный режим от 6 до 10 °C. Далее в лабораторных условиях грибы очищали и промывали проточной водой.

Для выделения культивируемых грибных симбионтов черного трюфеля грибы стерилизовали, помещая плодовые тела в 70%-й этиловый спирт, и обжигали. Затем стерильным скальпелем гриб разрезали по периметру, после чего его разламывали и вырезали центральный

участок глебы, к которому добавляли ТЕ-буфер (10 мМ Трис-НСl, 1 мМ ЭДТА) [10]. Полученные образцы глебы подвергались гомогенизации с помощью лабораторного вибрационного измельчителя БАБРх1 (НПК «Микотех», Россия) посредством интенсивного встряхивания со стальными шарами при 3000 об/мин. Далее образцы полученного гомогената были посеяны газоном на твердые питательные среды, такие как солодовый (солодовый экстракт – 20 г/л, глюкоза – 20 г/л, пептон – 1 г, агар – 20 г/л) и картофельно-глюкозный (картофельный экстракт – 20 г/л, глюкоза – 50 г/л, пептон – 30 г/л, MgSO₄ – 5 г/л, K₂HPO₄ – 10 г/л, агар – 20 г/л) агар [11].

Для предотвращения контаминации симбионтными микроорганизмами в агаризованные среды были добавлены антибиотики цефтриаксон (25 мкг/100 мл) и фурацилин (спиртовой раствор 5%-й – 50 мкл/100 мл). Культивирование проводили в термостатируемых условиях (24 °C), после чего выделяли ДНК калий-ацетатным методом и проводили молекулярную идентификацию чистых грибных культур по генам ITS, включающим участок гена 18S рРНК. Полученные нуклеотидные последовательности были зарегистрированы в базе данных GenBank под номерами ON386020, PV249422, PV250043-PV250044, PV250095-PV250096, PV250178 и PV262402. Помимо этого, выделенные в чистую

культуру грибные штаммы депонированы в Сетевой биоресурсной коллекции в области генетических технологий для сельского хозяйства, г. Санкт-Петербург (RCAM06826 – RCAM06829, RCAM06902, RCAM06903).

Для определения экологической роли грибных симбионтов трюфельных грибов и оценки их взаимных антагонистических взаимодействий был использован метод лунок [12]. Для этого в твердой питательной среде Сабуро на чашке Петри, предварительно газоном засеянной культурой тест-штамма, с помощью горлышка пластиковой 5-миллилитровой пробирки были вырезаны лунки диаметром 1,5 см. В лунки добавляли 250 мкл той же твердой питательной среды во избежание роста тест-культур по дну чашки Петри. В это же время тестируемые штаммы были смешаны с мягким агаром Сабуро и добавлены в количестве 500 мкл в вышеупомянутые лунки. Далее чашку Петри выдерживали при комнатной температуре в ламинарном боксе в течение 30 мин, затем помещали в термостат при температуре 24 °C на неделю. По истечении этого времени измеряли зону ингибирования роста тест-штамма вокруг лунки.

Статистический анализ полученных результатов был проведен с использованием U-критерия Манна – Уитни. Для оценки статистической значимости использовали уровень $p < 0,05$. Анализ проводили в программе Past 4.10.

Оценка антагонистической активности грибных симбионтов трюфельных грибов

Assessment of antagonistic properties of truffle-associated fungal symbionts

Номер штамма, посеянного газоном	Антагонистические свойства штаммов, инокулированных в лунки (зона ингибирования роста, см)							
	<i>Fusarium</i> sp. LPB2023712	<i>Trichothecium</i> sp. LPB202384	<i>Clonostachys</i> sp. LPB202216	<i>Clonostachys</i> sp. LPB2022F2	<i>Hypopichia</i> sp. LPB20231221	<i>Hypopichia</i> sp. LPB2023122	<i>Pseudogymnoascus</i> sp. LPB2023411	<i>Penicillium</i> sp. LPB2023F1
<i>Fusarium</i> sp. LPB2023712	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Trichothecium</i> sp. LPB202384	2,3±0,08	–	–	–	–	1,8±0,24	–	–
<i>Clonostachys</i> sp. LPB202216	2,5±0,23	2,5±0,49	–	–	–	–	–	2,3
<i>Clonostachys</i> sp. LPB2023F2	3,0±0,04	2,8±0,28	–	–	2,0±0,20	2,3±0,16	–	–
<i>Hypopichia</i> sp. LPB20231221	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Hypopichia</i> sp. LPB2023122	2,2±0,12	–	–	–	–	–	–	–
<i>Pseudogymnoascus</i> sp. LPB2023411	2,2±0,36	–	–	–	–	–	–	–
<i>Penicillium</i> sp. LPB2023F1	3,3±0,17	–	3,7±0,20	–	2,0±0,09	–	2,3±0,08	–

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В ходе проведенных работ выделены чистые культуры грибных симбионтов трюфельных грибов, ассоциированные с их плодовыми телами. Восемь штаммов, выделенных в ходе исследования ассоциантов *Tuber macrosporum*, были идентифицированы как мицелиальные грибы, принадлежащие к родам *Trichothecium* sp., *Fusarium* sp., *Clonostachys* sp. (два штамма), *Hyphopichia* sp. (два штамма), *Pseudogymnoascus* sp., *Penicillium* sp. Результаты эксперимента, приведенные в таблице, показали сложную систему взаимного антагонизма между различными представителями грибного сообщества трюфелей. Из исследованных восьми штаммов грибных симбионтов черных трюфельных грибов только у шести наблюдался антагонистический эффект. В остальных случаях грибная культура, посеянная газоном, угнетала рост грибных штаммов, инокулированных в лунки.

Наибольшую перекрестную антагонистическую активность проявил штамм *Fusarium* sp. LPB2023712, так как он подавлял рост шести иных штаммов, выделенных из черного трюфеля. Максимальная зона ингибирования данным штаммом составляла $\pm 3,3$ см (рисунок). Штамм *Trichothecium* sp. LPB202384 ингибировал рост *Clonostachys* sp. LPB202216 и *Clonostachys* sp. LPB2023F2 со средним значением диаметра зоны подавления $\pm 2,7$ см. Максимальная зона ингибирования среди всех исследуемых грибов наблюдалась у *Clonostachys* sp. LPB202216 против штамма *Penicillium* sp. LPB2023F1 и составляла $\pm 3,7$ см в диаметре. *Hyphopichia* sp. LPB20231221 подавлял рост *Clonostachys* sp. LPB2023F2 и *Penicillium* sp. LPB2023F1. Штамм *Hyphopichia* sp. LPB2023122 проявил активность в отношении *Trichothecium* sp. LPB202384 и *Clonostachys* sp. LPB2023F2. Стоит отметить, что штамм *Clonostachys* sp. LPB2022F2, инокулированный в лунки, не проявил антагонистических свойств.



Антагонистическая активность штамма *Fusarium* sp. LPB2023712 против *Penicillium* sp. LPB2023F1 (диаметр лунки – 1,5 см)

Antagonistic activity of *Fusarium* sp. LPB2023712 against *Penicillium* sp. LPB2023F1 (well diameter – 1.5 cm)

В ходе проведенного исследования из проб, полученных после гомогенизации, были выделены как хорошо изученные в научной литературе представители родов *Trichothecium* sp., *Fusarium* sp., *Clonostachys* sp., *Penicillium* sp., так и менее исследованные представители родов *Pseudogymnoascus* sp. и *Hyphopichia* sp.

Согласно анализу литературы, *Trichothecium roseum* является фитопатогеном и был ранее выделен из трюфельоподобных грибов из Китая [3].

Гриб *Fusarium* sp. является широко распространенным почвенным микроорганизмом, который может выступать в различных экологических ролях – как сапротроф, фитопатоген и эндофит грибов и растений [13]. В нашем исследовании штамм *Fusarium* sp. LPB2023712 обладал абсолютными антагонистическими свойствами по отношению к другим выделенным грибным штаммам. В связи с этим можно предположить, что данный гриб может регулировать количество и разнообразие грибных симбионтов внутри плодовых тел трюфеля, тем самым способствуя формированию благоприятного микробиома [14].

Clonostachys sp. является микопаразитарным грибом и используется в качестве агента биологического контроля фитопатогенных грибов [15, 16]. Исследования, проведенные М. Леонарди и его коллегами в 2018 году, подтверждают его распространенность. В ходе работ 58,6% образцов грибов *Tuber*, наблюдаемых в процессе полевых исследований, были идентифицированы как *Clonostachys rosea*. Эти данные подчеркивают потенциальное значение грибов рода *Clonostachys* не только как симбионтов трюфелей, но и как естественного средства борьбы с грибковыми инфекциями, что может иметь важные последствия для устойчивого культивирования трюфелей [17].

Дрожжи рода *Hyphopichia* sp. широко распространены в природе и играют важную роль в биологии трюфелей. Они участвуют в процессе накопления и передачи веществ, а также служат источником питания для самого гриба [18, 19].

Почвенные грибы рода *Pseudogymnoascus* sp. находятся в местах произрастания трюфельных грибов. Их присутствие в микробном сообществе трюфелей может быть связано с участием в деградации органических веществ, что способствует улучшению почвенных условий для роста и развития трюфелей [20].

Использование метода лунок позволило оценить антагонистическую активность грибных симбионтов черного трюфеля, выявив доминирующую роль *Fusarium* sp. В то же время данный подход не позволил полноценно оценить вклад других симбионтов. Данный факт подчеркивает необходимость применения дополнительных методов для более полного понимания взаимодействий в микробном сообществе трюфелей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного исследования демонстрируют сложность и многообразие грибных симбионтов, ассоциированных с черными трюфелями. Исследование выявило, что шесть из восьми грибных симбионтов трюфеля продемонстрировали антагонистическую активность. Наиболее выраженные антагонистические свойства проявил штамм *Fusarium* sp. LPB2023712, который может стать перспективным объектом для дальнейших исследований.

Результаты работы открывают новые возможности для поиска биологически активных соединений, что подчеркивает важность изучения плодовых тел трюфелей и ассоциированных с ними микроорганизмов. Учитывая потенциал трюфелей как источника полезных веществ, дальнейшие исследования могут проводиться с целью

разработки новых биотехнологий и терапевтических приложений, что имеет значение как для медицины, так и для сельского хозяйства. Таким образом, исследование представляет собой важный вклад в понимание ролей, которые грибные симбионты играют в экосистемах и в биотехнологическом контексте.

REFERENCES

1. Wilgan R. High species diversity but low specificity to ectomycorrhizal tree partners exhibited by native truffle species (*Tuber* spp., Pezizales) in Poland, Central Europe. *Forests*. 2023;14(12):2407. DOI: 10.3390/f14122407.
2. Zambonelli A., Iotti M., Murat C. True truffle (*Tuber* spp.) in the world. Cham: Springer; 2016, 436 p. DOI: 10.1007/978-3-319-31436-5.
3. Splivallo R., Ottonello S., Mello A., Karlovsky P. Truffle volatiles: from chemical ecology to aroma biosynthesis. *New Phytologist*. 2011;89(3):688-699. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2010.03523.x.
4. Saltarelli R., Ceccaroli P., Cesari P., Barbieri E., Stocchi V. Effect of storage on biochemical and microbiological parameters of edible truffle species. *Food Chemistry*. 2008;109(1):8-16. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.11.075.
5. Lee H., Nam K., Zahra Z., Farooqi M.Q.U. Potentials of truffles in nutritional and medicinal applications: a review. *Fungal Biology and Biotechnology*. 2020;7:9. DOI: 10.1186/s40694-020-00097-x.
6. Kaya Y., Akcura M. Effects of genotype and environment on grain yield and quality traits in bread wheat (*T. aestivum* L.). *Food Science and Technology*. 2014;34(2):386-393. DOI: 10.1590/fst.2014.0041.
7. Shah N., Usvalampi A., Chaudhary S., Seppänen-Laakso T., Marathe S., Bankar S., et al. An investigation on changes in composition and antioxidant potential of mature and immature summer truffle (*Tuber aestivum*). *European Food Research and Technology*. 2020;246:723-731. DOI: 10.1007/s00217-020-03438-7.
8. Pavić A., Stanković S., Saljnikov E., Krüger D., Buscot F., Tarkka M., et al. Actinobacteria may influence white truffle (*Tuber magnatum* Pico) nutrition, ascocarp degradation and interactions with other soil fungi. *Fungal Ecology*. 2013;6(6):527-538. DOI: 10.1016/j.funeco.2013.05.006.
9. Leonardi M., Iotti M., Pacioni G., Hall I.R., Zambonelli A. Truffles: biodiversity, ecological significances, and biotechnological applications. In: Abdel-Azeem A.M., Yadav A.N., Yadav N., Usmani Z. (eds). *Industrially Important Fungi for Sustainable Development*. *Fungal Biology*. Springer: Cham; 2021, p. 107-146. DOI: 10.1007/978-3-030-67561-5_4.
10. Delong R.K., Zhou Q. Experiment 2 – Preparing buffers at a specific molarity and pH. In: *Introductory Experiments on Biomolecules and their Interactions*. Academic Press, 2015, p. 13-19. DOI: 10.1016/B978-0-12-800969-7.00002-5.
11. Black W.D. A comparison of several media types and basic techniques used to assess outdoor airborne fungi in Melbourne, Australia. *PLOS One*. 2020;15(12):e0238901. DOI: 10.1371/journal.pone.0238901.
12. Magaldi S., Mata-Essayag S., de Capriles C.H., Perez C., Colella M.T., Olaizola C., et al. Well diffusion for antifungal susceptibility testing. *International Journal of Infectious Diseases*. 2004;8(1):39-45. DOI: 10.1016/j.ijid.2003.03.002.
13. Mohamed A.H., El-Megeed F.H.A., Hassanein N.M., Youseif S.H., Farag P.F., Saleh S.A., et al. Native rhizospheric and endophytic fungi as sustainable sources of plant growth promoting traits to improve wheat growth under low nitrogen input. *Journal of Fungi*. 2022;8(2):94. DOI: 10.3390/jof8020094.
14. Zvonarev A., Terentyev V., Zhelifonova V., Antipova T., Baskunov B., Avtukh A., et al. Phytotoxic strains of *Fusarium commune* isolated from truffles. *Journal of Fungi*. 2024;10(7):463. DOI: 10.3390/jof10070463.
15. Sun Z.-B., Li S.-D., Ren Q., Xu J.-L., Lu X., Sun M.-H. Biology and applications of *Clonostachys rosea*. *Journal of Applied Microbiology*. 2020;129(3):486-495. DOI: 10.1111/jam.14625.
16. Rennick B., Benucci G.M.N., Du Z.-Y., Healy R., Bonito G. *Tuber rugosum*, a new species from northeastern North America: slug mycophagy aids in electron microscopy of ascospores. *Mycologia*. 2023;115(3):340-356. DOI: 10.1080/00275514.2023.2184983.
17. Leonardi M., Ascione S., Pacioni G., Cesare P., Pacioni M.L., Miranda M., et al. The challenge for identifying the fungi living inside mushrooms: the case of truffle inhabiting mycelia. *Plant Biosystems*. 2018;152(5):1002-1010. DOI: 10.1080/11263504.2017.1407373.
18. Ren Y.-C., Liu S.-T., Li Y., Hui F.-L. *Pichia dushanensis* sp. nov. and *Hyphopichia paragoi* sp. nov., two sexual yeast species associated with insects and rotten wood. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2015;65:2875-2881. DOI: 10.1099/ijs.0.000349.
19. Lee D.W., Hong C.P., Thak E.J., Park S.-G., Lee C.H., Lim J.Y., et al. Integrated genomic and transcriptomic analysis reveals unique mechanisms for high osmotolerance and halotolerance in *Hyphopichia* yeast. *Environmental Microbiology*. 2021;23(7):3499-3522. DOI: 10.1111/1462-2920.15464.
20. Sánchez-Ledesma J.A., Guevara-Guerrero G., Garibay-Orijel R., Ángeles-Argáiz R., Ávila-Rodríguez V., Arreola-Ávila J.G., et al. *Tuber caryophilum*, a new truffle species growing in *Carya illinoensis* orchards. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 2022;93:e934893. DOI: 10.22201/ib.20078706e.2022.93.4893.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Имидоева Наталья Александровна,
младший научный сотрудник,
Иркутский государственный университет,
664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1,
Российская Федерация,
✉ nat.imidoeva@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6327-5517>

Малыгина Екатерина Владимировна,
научный сотрудник,
Иркутский государственный университет,
664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1,
Российская Федерация,
cat.malygina@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2673-0226>

Бельшенко Александр Юрьевич,
научный сотрудник,
Иркутский государственный университет,
664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1,
Российская Федерация,
al.belyshenko@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8812-2250>

Вавилина Татьяна Николаевна,
студент,
Иркутский государственный университет,
664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1,
Российская Федерация,
t.vavilina03@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-9725-9523>

Шелковникова Виктория Николаевна,
младший научный сотрудник,
Иркутский государственный университет,
664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1,
Российская Федерация,
shelkovnikova551@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4411-7521>

Дмитриева Мария Егоровна,
научный сотрудник,
Иркутский государственный университет,
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1,
Российская Федерация,
marriee.dmitrieva@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9229-1954>

Моргунова Мария Михайловна,
научный сотрудник,
Иркутский государственный университет,
664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1,
Российская Федерация,
marymikhmorg@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-7939-1432>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Natalia A. Imidoeva,
Junior Researcher,
Irkutsk State University,
1, Karl Marx St., Irkutsk, 664003,
Russian Federation,
✉ nat.imidoeva@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6327-5517>

Ekaterina V. Malygina,
Researcher,
Irkutsk State University,
1, Karl Marx St., Irkutsk, 664003,
Russian Federation,
cat.malygina@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2673-0226>

Aleksandr Yu. Belyshenko,
Researcher,
Irkutsk State University,
1, Karl Marx St., Irkutsk, 664003,
Russian Federation,
al.belyshenko@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8812-2250>

Tatyana N. Vavilina,
Student,
Irkutsk State University,
1, Karl Marx St., Irkutsk, 664003,
Russian Federation,
t.vavilina03@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-9725-9523>

Victoria N. Shelkovnikova,
Junior Researcher,
Irkutsk State University,
1, Karl Marx St., Irkutsk, 664003,
Russian Federation,
shelkovnikova551@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4411-7521>

Maria E. Dmitrieva,
Researcher,
Irkutsk State University,
1, Karl Marx St., Irkutsk, 664033,
Russian Federation,
marriee.dmitrieva@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9229-1954>

Maria M. Morgunova,
Researcher,
Irkutsk State University,
1, Karl Marx St., Irkutsk, 664003,
Russian Federation,
marymikhmorg@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-7939-1432>

Тельнова Тамара Юрьевна,
младший научный сотрудник,
Иркутский государственный университет,
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1,
Российская Федерация,
telnovatamara1410@gmail.com <https://orcid.org/0000-0003-2606-3766>

Баталова Анна Александровна,
студент,
Иркутский государственный университет,
664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1,
Российская Федерация,
ann.batalovaa@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0007-1343-4544>

Аксёнов-Грибанов Денис Викторович,
к.б.н., доцент,
Иркутский государственный университет,
664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1,
Российская Федерация,
denis.axengri@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2020-6084>

Вклад авторов

Н.А. Имидоева – проведение исследования, валидация результатов, написание черновика рукописи.
Е.В. Малыгина – курирование данных.
А.Ю. Бelyshenko – проведение исследования.
Т.Н. Вавилина – проведение исследования.
В.Н. Шелковникова – формальный анализ.
М.Е. Дмитриева – курирование данных.
М.М. Моргунова – формальный анализ.
Т.Ю. Тельнова – формальный анализ.
А.А. Баталова – формальный анализ.
Д.В. Аксёнов-Грибанов – научное руководство, предоставление ресурсов, редактирование текста статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Поступила в редакцию 27.03.2025.
Одобрена после рецензирования 16.05.2025.
Принята к публикации 25.08.2025.

Tamara Yu. Telnova,
Junior Researcher,
Irkutsk State University,
1, Karl Marx St., Irkutsk, 664003,
Russian Federation,
telnovatamara1410@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2606-3766>

Anna A. Batalova,
Student,
Irkutsk State University,
1, Karl Marx St., Irkutsk, 664003,
Russian Federation,
ann.batalovaa@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0007-1343-4544>

Denis V. Axenov-Gribanov,
Cand. Sci. (Biology), Associate Professor,
Irkutsk State University,
1, Karl Marx St., Irkutsk, 664003,
Russian Federation,
denis.axengri@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2020-6084>

Contribution of the authors

Natalia A. Imidoeva – investigation, validation, writing – original draft.
Ekaterina V. Malygina – data curation.
Aleksandr Yu. Belyshenko – investigation.
Tatyana N. Vavilina – investigation.
Victoria N. Shelkovnikova – formal analysis.
Maria E. Dmitrieva – data curation.
Maria M. Morgunova – formal analysis.
Tamara Yu. Telnova – formal analysis.
Anna A. Batalova – formal analysis.
Denis V. Axenov-Gribanov – supervision, resources, editing.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Information about the article

The article was submitted 27.03.2025.
Approved after reviewing 16.05.2025.
Accepted for publication 25.08.2025.